

施設野菜生産における情報のシステム化

| | |
|-------|---------------|
| 誌名 | 農林水産技術研究ジャーナル |
| ISSN | 03879240 |
| 著者 | 礒部, 誠之 |
| 巻/号 | 12巻11号 |
| 掲載ページ | p. 19-25 |
| 発行年月 | 1989年11月 |

農林水産省 農林水産技術会議事務局筑波産学連携支援センター
Tsukuba Business-Academia Cooperation Support Center, Agriculture, Forestry and Fisheries Research Council
Secretariat



施設野菜生産における情報のシステム化

磯部 誠之

野菜の施設生産においては、気温、湿度、炭酸ガス濃度などの環境制御の他、土壌の水分や養分濃度の制御によって作物の栽培管理が行われる。人工培地を利用する場合には、さらに培地の高度制御が必要となる。施設のための資本投下と生産物の販売計画のために多くの情報の取得と処理、またそれらに基づいた判断が行われるが、ここでは、主に生産に直接関係する技術的場面における情報のシステム化について述べることにする。

1. 環境制御における情報システム

現在の環境制御は主としてある作型において与えられた環境条件を実現することを目的とし

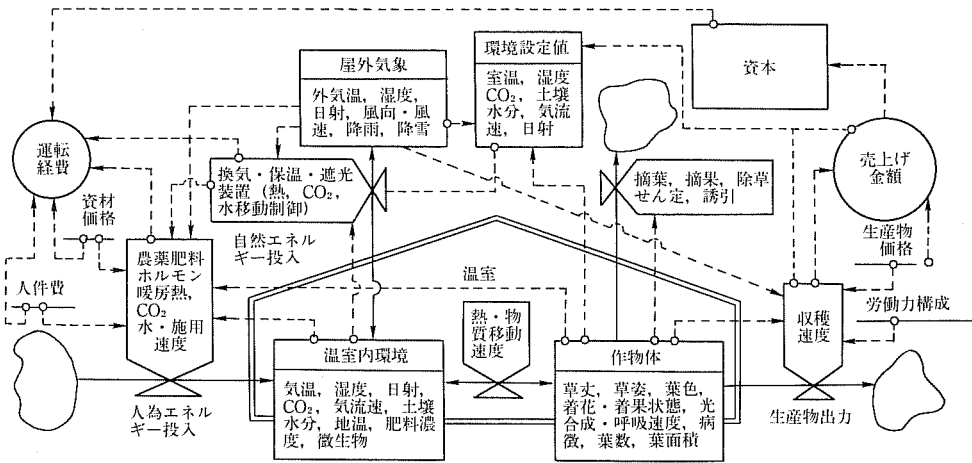


図1 温室の総合環境管理の関係図 (古在, 1985)

注) 点線: 物質・エネルギーの流れ, 破線: 情報の流れ, 矩形: 状態変数 パルプ形: 速度変数, 丸形: 補助方程式, 不定形: ソースまたはシンク (source or sink), アンダーライン: 定数またはパラメータ, ここでは屋外気象が外力変数となる。

Seishi ISOBE: Information systems in protected cultivation of vegetables

ている。生育にとって好適な条件を作るためには、適切な生育センサーが必要であるが、現状ではこのようなセンサーは実現していない。こ

のような条件でも、環境制御の改善によって、高精度の環境制御が可能となり、省エネルギー、省力、さらに生産物の均質化等の効果があがっている。

温室の総合的管理における情報の流れの関係を図1に示した。温室内環境を単にある一つの変量（例えば時間、日射等）との関係で制御するのではなく、多くの変量との関係で制御する複合環境制御が導入されるようになって以来、自動制御装置が市場に供給される様になっている。それらの装置はマイクロコンピュータによる制御が一般的となっている。マイコンで制御される温室の装置は表1のようなものである。これらの制御項目について、設定値等の入力に

表1 温室制御装置の制御項目（島地）

| 制御項目 | 制 御 機 器 | 備 考 |
|------------|-----------|--------------------|
| 換 気 | 天窓、側窓開閉 | 温室内上限温度維持 |
| | 換気ファン | 除湿 炭酸ガス補給 |
| 保 温 暖 房 | カーテン開閉 | 熱放出抑制 |
| | 温風暖房機 | 温室内下限温度維持 |
| | 温水暖房機 | |
| | 地中熱交換 | |
| 炭酸ガス 施用 | 炭酸ガス発生器 | 炭酸ガス高濃度化 |
| | 炭酸ガスポンベ | |
| 遮 光 | 遮光カーテン | 日長処理(不透明) 葉やけ防止 |
| 細霧冷房 | 微粒子ノズル | 冷房 加湿 |
| 冷 房 | ヒートポンプ | 夜間冷房 |
| | 地下水 | 培地冷却 |
| 養液栽培 | E Cコントロール | 液肥濃度調節 |
| | p Hコントロール | p H調節 |
| | 給液装置 | 点滴ノズル 給液量制御 |
| | 灌 水 | 灌水装置 |

基づいてある手順に従って制御のための出力や情報の表示がなされる。この手順（ソフトウェア）は、多くの場合環境に対する作物の生理生態的な反応に基づいて、ある生育条件を維持できる様に作られている。このようなソフトウェアはプログラムという形でコンピューターに記憶させる。ソフトウェアは装置によって異なるが、一般的な制御手順は以下のようにになっている。

温度制御： 温度の設定は温室環境制御の最も基本的なものである。上限温度を換気設定温度、下限温度を暖房設定温度とすれば、温室の温度域は両者の間となる。実際の設定温度は作物によって異なる。日射と光合成及び転流の温度依存性から、1日を4～6の時間帯に分け、光合成の大きな日中の時間帯で温度の設定値を高める（図2）。さらにこのような設定値を日射量によって修正することなども行われる（図3）。

湿度制御： 湿度の制御は病害や生育制御のために重要であるが、現在の環境制御では独立した設定項目とはなっていない。これは温度と湿度との間の密接な関係のため設定値間に矛盾を生じる場合が多い。湿度の厳密な制御のためには高湿度（95%以上）で精度のよい安定したセンサーがない。湿度制御の効果が明確になっていないこと等による。最近、湿度を複合環境制御に取り入れるためいくつかのシステムについて実際的な研究が進んでいる。

保温制御： 省エネルギーのためカーテンに

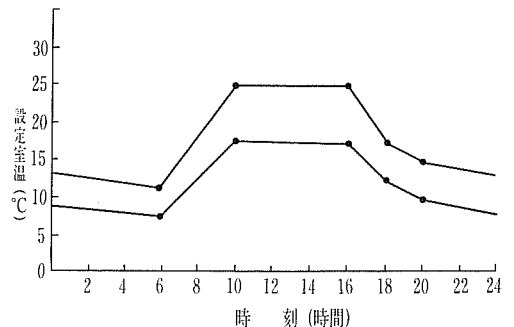


図2 時刻別上下限設定室温

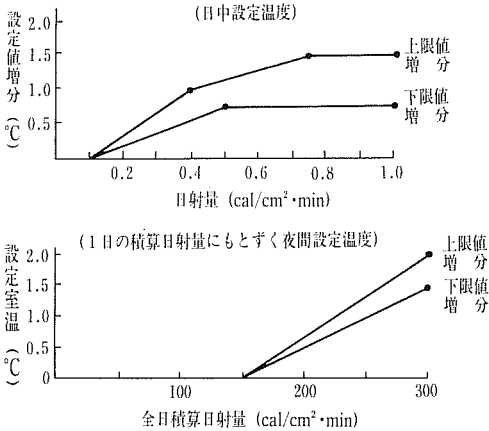


図3 日射量にもとづく上下限値の修正法(文献,7)

よる多層被覆, 特に2軸2層が普及している。被覆資材は1層は透光性の塩ビ, ポリエチレンまたは半透光性で吸湿性の不織布, 他の1層は反射性のアルミ蒸着フィルムまたはシルバーポリ等を組合せた遮光性のものが多い。保温効果を目的とした透光性カーテンの解放は室温が一定(例えば20°C)以上に達した時作動する。また, 閉鎖設定温度は暖房設定温度にしてある。反射性フィルムや不織布は早朝と夕方遅く開閉する時間制御が基本であるが, 一定以上の日射

量を感じた場合には設定時間に関係なく開閉するようになっている(図4)。

炭酸ガス制御: 炭酸ガス濃度計によって設定値と比較しながら制御するのが良いが, それを持たない簡易型では作動時間を設定するだけか, あるいは日射量に比例して作動時間をきめている。いずれの場合でも, 換気設定温度以下で作動するようにする。

養液制御: 養液供給の制御は水耕栽培(NFTなど)のように養液を循環させる型では循環ポンプの運転間隔を制御する。ロックウール栽培では日射量に応じて供給量を変えたり, 供給間隔を変えるなどの制御が行われている。養液の調製にはpHと電気伝導度ECセンサーを用い, 酸・アルカリや液肥の追加を制御する。養液のイオン組成の制御はセンサーが開発されていないので, 行われていない。

灌水制御: 灌水量や時期を決める要因は, 土壌水分, 作物の生育状態, 天候の予測など等であるが, それらの間の関連が明らかになっていないので, 自動的に制御することは出来ない。現在では, 灌水は時間制御であり, 栽培者が生育状態を判断して時間の調節を図ってい

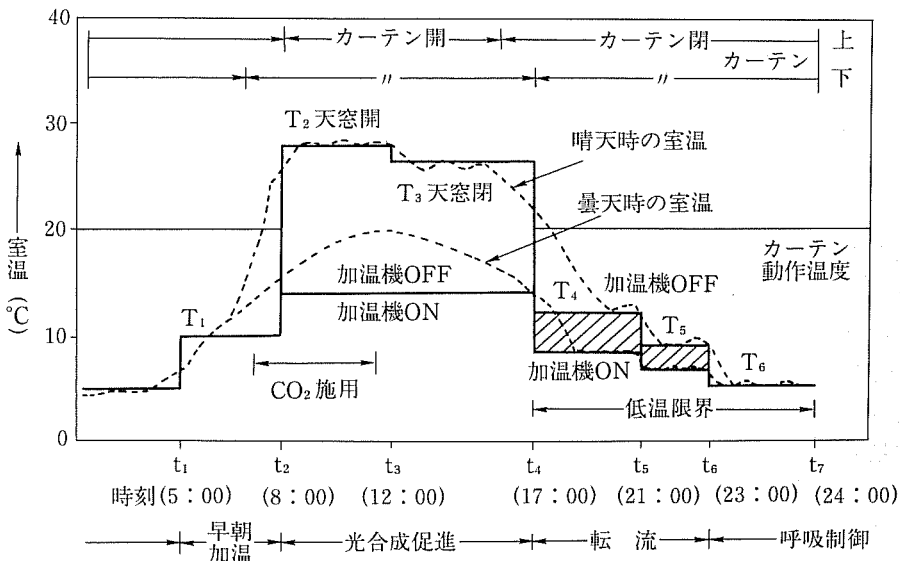


図4 マイコンによる温室環境制御(板木, 1985)

るにすぎない。

警報発信機能： 温室環境条件やマイコンに異常を生じた場合にブザーやランプで知らせ、またディスプレイに表示する。暖房機の故障により作物を凍死させたり、天窓が開かず高温障害のために大きな被害を受ける場合があるので、警報機能は重要である。

2. 最近における情報システムの開発

ネットワークシステム： 現在マイコンを用いた温室環境制御装置は約800台あるといわれている。この様な制御用マイコンに通信機能を付加することにより、公衆電話回線を通じて、温室より離れた遠隔地（農家）において、パソコンを利用して温室環境を監視・制御できる。これにより、広範囲にある多数の温室の監視と制御を可能とするものである。

温室立地情報システム： 温室内環境を外部環境から独立して制御することはエネルギーとコストの点から現実的でないので、温室環境制御は外部環境の不適当な部分を補い、修正することを目的としている。施設面積は現在も増加しており、しかも相対的に環境条件の劣った地域においても増加がみられる。このため今後の施設立地には、立地環境の重要性が大きくなると予想される。これに対応するためには、最近整備されつつあるメッシュ気候図の利用が考えられる。施設はその構造や種類によって外部環境の内部に対する影響度が異なるので、既製の気候図をそのまま利用するには困難な場合がある。例えば、温室の日射エネルギーの有効利用を図る場合、外部環境温度と日照時間は国土数値情報とアメダスデータから重相関解析によって推定されるが、温室で実際に利用される変量は日射量であるため、アメダスデータに含まれない日射量を日照時間から推定しなければならない。このため、日射量の推定精度が低下し日射による蓄熱の推定精度が十分に高くない。したがって、局地的な差については信頼度

が小さいので、立地問題への適用性も小さくなる。このような欠点を改善するためには、新しい観測値の導入や重相関を用いない推定などの検討が必要であろう。

環境制御・栽培管理支援システム： 環境制御における設定値等コンピューターに入力すべき数値の数は機種によっては50以上にもなる場合があり、また栽培における灌水や養液の管理にも多くの知識に基づいた判断が求められる。これらの判断のためには栽培知識の他、作物の状態についての情報が必要である。現在まで、栽培管理情報の取得は、主に栽培者の経験に基づいているので、一般化・定量化されたものとなっていない。この様な場面で、栽培管理者の判断を助けるために、コンピューターを利用する技術が、人工知能（AI）の応用として開発されつつある。

専門家が複雑な問題を解くために用いている知識を機械化することによって、問題解決を行うことが出来る様なシステムをエキスパートシステムという。これにより非専門家でも、専門家と同様な問題解決が出来るようになると期待される。このシステムでは数値を処理するのではなく、知識が取り扱われる。知識から一定の結論を導くための推論・演繹の方法は数値処理と異なってくる。エキスパートシステムは種々のものがある。施設園芸でよく知られたエキスパートシステムは細菌感染症の診断システム（M-YCIN）にならったトマト病害診断システムである。これらの場合には、知識をIF 前提 THEN 行動（CF）という形式の、プロダクション・ルールの集合として表現する（CFは知識の確信度）。この様なAIシステムをプロダクションシステムというが、これはルールベース、推論エンジン、作業記憶の3つの部分から出来ていて、作業記憶には推論の結果として得られた命題が書き込まれる。推論エンジンにより作業記憶内の命題にルールを適用して次々にかきかえ、推論を行う。AIシステムでは、知識表現形式や推論形式がほぼ固まっているも

のがある。したがって、基本的なプログラムを予め作って置き、知識の定義など利用分や特有のプログラムを使用者が開発すれば、一つのエキスパートシステムができあがる。この基本的プログラムが構築ツールであり、いくつかのツールが市販されている。

この他、知識表現の一つとして、ある知識についてそれが活用される枠組みを与えるフレームモデルがある。たとえば、トマトに関する知識は一括して記述するが、トマトフレームには作型、低温限界、高温限界等が下位フレームとなる。このシステムでは、各フレームが推論を実行しながら、全体として協調して問題を解決する。作物の生育管理についての知識の表現には、フレームを用いるのがよいと考えられる。

施設園芸においても、上述のトマトの病害診断の他、種々のエキスパートシステムが作られている（イチゴの病害—古在・茂呂、促成トマトの栽培管理—高倉・庄野・本条）。また、環境制御支援のためのエキスパートシステムも開発されている（古在・星，1986）。病害診断のシステムのうち一部は利用され、有効性が確かめられている（熊谷，1985）。しかしその他はまだ研究室段階で利用されているに過ぎない。この主な理由は、栽培における知識の表現が曖昧なため、エキスパートシステムによる判断の正確度が十分に高くなく、実用温室では失敗した場合の損害が大きくなる恐れがあることにある。

エキスパートシステムでは、知識に基づいた推論過程を記号計算におきかえるが、これは人間の思考過程を真似たものではない。人間の思考過程を学習して、栽培における管理者の判断を支援するシステム開発のために、ニューラル・ネットワーク（神経回路網）システムを利用する試みがなされている。この学習モデルでは、ニューロン（神経細胞）への入力は、相互作用をしているいくつかの中間層ニューロンに分散して処理される。更にこれらのニューロン層からの情報は平行的にある一つの出力に伝えられる。学習を実際に行わせるには、データを入力

し、出力と実際の結果との誤差が最小になる様なニューロン間の相互作用を定める。この過程を繰り返すことにより相互作用がある状態に収束すれば学習がされたことになる。

高精度のトマト生産（5段栽培）を目標とした灌水管理で、表2に示した要素を入力とした学習を行い、本システムによる灌水判断と実際の灌水との比較から、中間層数が8で、入力変数が6以上であれば98%以上の精度で灌水判断が可能であることが、明らかにされた（表3）（大原，1989）。ニューラル・ネットにおける学習は、ある程度の時間が必要であり、解の収束性など検討すべき点があるが、高品質生産のためのコンピューターによる自動灌水制御が実現出来ることになる。

経営管理支援システム：施設園芸は集約度が高いので、作付計画などでも経費、労働時間、経営面積など制限要因を考慮しながら収益を最大にすることが重要である。この様な問題に適用されるシステムとしては、線形計画法を利用したソフトウェアがつくられて利用されている。

3. 今後の問題

温室の環境制御と生育管理に上記の新しいシステムを組み入れ、さらに地域の生産物の品質管理と市場の情報を統合した高度情報型施設生産のために、階層的コンピューターネットワーク

表2 学習に用いた入力要素

| |
|-----------|
| 積算日射量 |
| 積算飽差 |
| 積算温度 |
| 土壤水分 (PF) |
| 蒸発計蒸発量 |
| 当日日射量 |
| 管理目標指数 |
| 作物生育状態指数 |
| 事後評価 |

表3 トマトの収量と品質 (株当たり)

| | | 収 量 | | Brix 糖度出現比率 (%) | | | | |
|-----|-----|-------|-------|-----------------|-------|--------|---------|---------|
| | | 正 常 果 | 総 収 量 | 6 以 下 | 6 ~ 8 | 8 ~ 10 | 10 ~ 12 | 12 ~ 14 |
| 全 体 | 個 数 | 19.42 | 25.07 | 29 | 31 | 16 | 20 | 4 |
| | 果 重 | 185 | 164 | | | | | |
| | 収 量 | 3,585 | 4,118 | | | | | |

注) 個数: 個/果房または株, 果重: g/果房または株, 全体収量: g/株

灌水判断の正答率 (%)
(段数はニューロンの積み重ね段数)

| 段 数 | 2 | 3 | | | | | | | |
|-------|---|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | 0 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| 入 力 数 | 5 | 91.3 | 92.7 | 94.0 | 92.7 | 93.3 | 93.3 | 94.7 | 94.0 |
| | 6 | 92.0 | 94.0 | 92.7 | 93.3 | 94.7 | 98.0 | 100 | 98.7 |
| | 7 | 94.0 | 98.0 | 99.3 | 98.7 | 99.3 | 99.3 | 99.3 | 99.3 |
| | 8 | 95.3 | 98.0 | 99.3 | 99.3 | 99.3 | 99.3 | 99.3 | 99.3 |
| | 9 | 97.3 | 98.0 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

クが提案されている (古在ら1986b, 大原ら1988)。大型の市場情報等のデータベース, 知識ベースは中央のコンピューターで集積し, 温室の制御装置と農家レベルでの制御は各々別のシステムで行うことが考えられている。今後はこれらのシステムのためのソフトウェアの開発が, 上に述べた新しいシステムの信頼性の向上とともに必要となる。

農業, 特に栽培管理で集積された知識は専門的な分化をしていないので, 現在のエキスパートシステムの方法が有効でない場合が多い。しかし, 知識工学の進歩により, エキスパートシステムは施設生産において人間の判断を支援する有力な手段となることが期待できる。従来の環境制御や栽培管理技術のシステム化のみでは, 作物の全期間の最適制御は不可能であった。従って, 新しい生体情報の取得を含めた, 情報処

理についての基本的原理の解明も今後の施設生産における情報化にとって重要な課題である。

(野菜・茶業試験場 気象環境研究室長)

引用文献

1. 大原源二: ニューラルネットの栽培管理への応用, 日本農業気象学会情報システム部会資料, 1-5 (1989)
2. 大原・向・磯部: 温室群管理支援システムの開発, 日本農業気象学会東海支部会誌 46, 1-3(1988)
3. 板木利隆: 施設園芸におけるコンピュータの利用について, 農業情報システム活用資料集成139-159, S. D. C. (1985)
4. 古在・星: 農業・農学における知識工学的手法の応用, 農業および園芸 61, 3-10(1986a)
5. 古在・星: 園芸環境工学における最近の話題(6)温室環境制御支援のためのコンピュータネットワークと知的支援システム, 農業および園芸 61, 889-894 (1986b)

6. 熊谷美佳子：知識工学手法を用いた農業用コンサルテーションシステム，施設と園芸 51, 18-22 (1985)
7. 日本施設園芸協会：施設園芸におけるマイクロコンピュータ導入の手引，99-100 (1986)
8. 農林水産技術会議事務局：施設園芸における湿度等最適制御システムの開発 (1989)
9. 島地英夫：複合環境制御と遠隔制御ネットワークシステム，施設園芸ハンドブック (新訂) 306-316 (1987)

【図書刊行ご案内】

新しい品種を求めて

—バイオテクノロジーによる新品種開発—

農業生物資源研究所長 日野 稔彦 編集
筑波大学農林学系教授 菊池 文雄

B5版 / 125ページ / 定価 1,750円 (本体 1,700円)
(〒260円)

■ ご購読のおすすめ ■

1970年代の後半から台頭した分子生物学や細胞生物学を基盤とする、いわゆるニューバイオテクノロジーは、近年数々の成果をもたらしており、農業分野への応用が着実に進んでおります。

このバイオテクノロジーの成果は、農作物生産の各面におよび、とくに新品種開発にもっとも強烈なインパクトを与えるものと予測され、また、種苗の管理・育成の過程に対しても、大量増殖等の技術の進展により、大きな変革をもたらすものと期待されております。

本書は、これらの新しい品種開発をめざすバイオテクノロジーについて、主要技術の領域毎に、技術の解説も加えつつ、研究開発・実用化の経緯をたどり、最近の成果の概要を紹介するとともに、さらに今後の技術発展の見通しにまで論及しているものであります。

広く研究者、普及担当者、農業指導者および農業を学ぶ学生の方々に好適の書と考えられます。この際ご購入ご利用されるようにおすすめいたします。

— 発行所 —

社団法人 農林水産技術情報協会

〒103 東京都中央区日本橋兜町15-6 (製粉会館内)
電話 03(667)8931(代) 振替 東京1-71476